

虚拟现实康复技术在脑卒中后上肢运动障碍中的应用进展

李冰洁 李芳

【摘要】 虚拟现实康复技术是计算机模拟真实环境的集成技术,具有沉浸、交互和想象三大特点,广泛应用于脑卒中后上肢运动功能康复。本文简要阐述虚拟现实康复技术在脑卒中后上肢运动障碍中的应用进展。

【关键词】 卒中; 运动障碍; 上肢; 虚拟现实(非 MeSH 词); 康复; 综述

Application progress of virtual reality rehabilitation technology in upper limb dysfunction after stroke

Li Bing-jie, Li Fang

Neurological Rehabilitation Center, Beijing Charity Hospital; China Rehabilitation Research Center; School of Rehabilitation Medicine, Capital Medical University, Beijing 100068, China

Corresponding author: Li Bing-jie (Email: kaka0515@yeah.net)

【Abstract】 Virtual reality (VR) rehabilitation technology is a kind of integrated technology which simulates the real world via computer. It has three characteristics: immersion, interaction and imagination. It is widely used in the field of stroke rehabilitation. This review briefly describes the application of virtual reality rehabilitation technology in upper limb dysfunction after stroke.

【Key words】 Stroke; Movement disorders; Upper extremity; Virtual reality (not in MeSH); Rehabilitation; Review

This study was supported by Beijing Science and Technology Plan Project (No. Z161100002616018).

全球每年约有 15×10^6 例新发或复发脑卒中患者^[1],其中 2/3 幸存者遗留运动障碍^[2],尤以上肢运动障碍严重影响生活质量。传统康复技术如运动再学习(MRP)、神经发育疗法和本体感觉神经肌肉促进技术,可以显著改善运动功能,然而传统康复技术以康复治疗师进行手法操作为主,同时在特定场所借助简单康复器械进行辅助训练,患者仅简单被动参与,整个训练过程枯燥乏味,而且传统康复技术属资源密集型,消耗大量人力和物力,且费用较为昂贵,常需专门设备,故无法在临床广泛应用。近年来,虚拟现实(VR)技术作为一种新型康复

策略,可以明显减少人力和物力消耗,为脑卒中后运动功能康复提供新的思路。

一、虚拟现实康复技术的定义

虚拟现实技术采用以计算机技术为核心的现代高科技技术生成一定范围内逼真的视觉、听觉、触觉一体化虚拟环境,用户借助必要的装备以自然的方式与虚拟环境中的物体进行交互作用、相互影响,从而获得如临真实环境的感受和体验。

虚拟现实技术作为一种新兴且迅速发展的技术,属跨学科综合集成技术,涉及计算机图形学、人机交互技术、传感技术、人工智能等多个领域。虚拟现实系统具有“3I”特征,即沉浸(immersion)、交互(interaction)和想象(imagination)^[3],其中,沉浸为核心特征,使用户投入到由计算机生成的虚拟场景中,即用户产生身临其境的感受;交互是人机和谐的关键因素,代表用户与虚拟场景中各种对象之间的相互作用。虚拟现实技术可以使用户沉浸于虚

doi:10.3969/j.issn.1672-6731.2017.04.002

基金项目:北京市科技计划项目(项目编号:Z161100002616018)

作者单位:100068 中国康复研究中心北京博爱医院神经康复中心 首都医科大学康复医学院

通讯作者:李冰洁(Email:kaka0515@yeah.net)

拟环境中以获取新知识,提高感性和理性认识,产生新想象。近 10 年来,虚拟现实康复技术广泛应用于康复治疗的各领域,包括脑卒中康复治疗。目前,虚拟现实康复技术在国外越来越多地应用于改善脑卒中患者上肢功能、认知功能、平衡功能和行走能力^[4]。

二、虚拟现实康复技术应用于脑卒中后上肢运动障碍

1. 设备要求 虚拟现实康复技术应用于上肢运动障碍主要包括手指训练系统、手臂训练系统和混合训练系统^[5]。其设备按照沉浸程度分为沉浸式和非沉浸式,沉浸式设备提供的虚拟环境视野较大,可以较好地用户与现实环境隔离,实现人与虚拟环境的完全融合^[5],但该设备对虚拟环境中的三维图像要求较高,增加了系统开发难度且费用昂贵,亦可能需要一定面积的训练场地,故限制其在临床广泛应用;非沉浸式设备将虚拟环境显示于计算机屏幕上,带或不带接触装置如鼠标、触觉装置等,目前多家公司研发出商用非沉浸式设备,其中应用较多的有日本任天堂株式会社研发的商用游戏系统 Wii,该设备成本较低、占地面积较小、便于携带,故广泛应用于多中心临床研究。尽管非沉浸式设备应用广泛,但其沉浸感不如沉浸式设备,对康复训练效果有一定影响。随着虚拟现实技术的日臻完善,沉浸式设备的成本降低,其应用范围将进一步扩大。

2. 临床应用 目前,虚拟现实康复技术的临床应用以脑卒中患者康复治疗占绝大多数。2016 年,美国心脏协会(AHA)和美国卒中协会(ASA)共同发布《成人脑卒中康复指南》^[6],建议虚拟现实康复技术在脑卒中后上肢功能康复中的应用为 II a 类 B 级推荐。虚拟现实康复技术对脑卒中后上肢运动障碍的康复效果已经多项临床研究证实^[7-8],但一些单随机对照临床试验或非随机对照临床试验得出的结论并不一致^[7]。2015 年,Laver 等^[7]对虚拟现实康复技术应用于脑卒中后上肢运动障碍的随机对照临床试验进行系统评价,结果显示,虚拟现实康复技术可以显著改善脑卒中患者上肢功能和日常生活活动能力(ADL),但对上肢力量无明显改善作用,但是由于该系统评价纳入多篇低质量文献,故降低其结论的可靠性。亦有研究显示,虚拟现实康复技术可以造成轻微不良反应,如短暂性头晕。一项多中心随机对照临床试验——虚拟现实训练在脑卒

中康复中的疗效观察(EVREST)试验采用非沉浸式设备(日本任天堂株式会社研发的商用游戏系统 Wii)对脑卒中后上肢运动障碍患者进行康复训练,对照组仅使用计算机进行娱乐活动,比较两组患者完成 Wolf 运动功能测验(WMFT)时间,结果显示,虚拟现实康复技术组患者完成 WMFT 量表时间较对照组有减少趋势,而在手功能、握力、运动功能、日常生活活动能力、运动质量和生活质量方面无明显差异^[9]。该项研究是首个在脑卒中早期常规康复训练基础上应用非沉浸式设备并比较二者有效性的随机对照临床试验,结果表明虚拟现实康复技术和适宜的视频娱乐活动均可以作为康复训练过程中提高患者积极性和增加运动训练量的合理替代方法^[9]。上述研究结果不尽一致,可能存在以下几方面原因:(1)各项临床试验中对照组所采用的康复训练方法不同。部分临床研究的对照组接受常规康复训练^[10],而 EVERST 试验的对照组仅进行娱乐干预,可能造成研究结果不一致。(2)各项临床试验所采用的虚拟现实系统不尽一致,干预时间不同,也可能是造成研究结果不一致的原因。(3)各项临床试验对上肢功能的评价方法不尽一致,也可能是造成 Meta 分析结果不确切的原因之一。虚拟现实康复技术干预脑卒中后上肢运动障碍的疗效评价方法较多(40 多种),目前的常用方法有 Fugl-Meyer 评价量表(FMA)、WMFT 量表^[11]、欧洲多维健康量表(EQ-5D)^[12]等,上述量表均依赖康复治疗师的主观评价,难以全面客观地评价疗效。未来将国际功能、残疾和健康分类(ICF)引入虚拟现实康复技术干预脑卒中后上肢运动障碍的疗效评价可能成为新的思路。此外,虚拟现实设备可以计算运动过程中采集的关节角度信息以获得运动学参数,如关节活动度、关节平均运动速度,以及其他相对特定训练任务的运动学参数,如运动精度、运动轨迹平滑程度、运动轨迹长度、运动协调性等,此评价相对客观,可以作为康复效果评价指标。虚拟现实康复技术作为脑卒中康复的新技术,对脑卒中后上肢功能康复的疗效尚不确定,仍需进一步深入研究。虚拟现实康复技术应用于临床实践前,应进行成本-效益分析(CBA)、可行性和患者可接受性评价。现有证据尚不支持临床上投资和采用昂贵的虚拟现实系统,或取代基于现有证据的康复系统。但是可以根据患者对虚拟现实康复技术的接受和喜好程度,将虚拟现实系统作为整个康复过程的一部分,安全有

效^[13]。虚拟现实康复技术是康复过程中吸引脑卒中患者注意力的合理替代方法,也可用于增加康复训练量^[7,14-18]。

3. 作用机制 虚拟现实康复技术可以激活受损大脑皮质运动区^[19],促进神经功能重塑,表现为激活初级感觉和运动皮质以及次级感觉和运动皮质,包括背侧运动前区和辅助运动区(SMA),以及扣带回前部、内侧前额叶皮质(mPFC)和颞上回等;同时,虚拟现实康复技术还可以使运动前区和辅助运动区等部位的异常激活消失,从而促进运动功能康复。虚拟现实康复技术可以使初级感觉和运动皮质的偏侧化指数明显增加^[4],同侧次级感觉和运动皮质与双侧感觉和运动区域之间的功能连接明显增强,促进神经功能连接和双侧大脑半球之间的平衡重塑^[20]。

三、虚拟现实康复技术存在的问题及展望

虚拟现实康复技术为脑卒中后上肢功能康复提供新的治疗手段。由于该项技术具有沉浸、交互和想象三大特点,极大地增加患者康复训练的积极性,还可以根据患者的训练情况提供实时反馈,根据个体条件制定训练任务,具有传统康复技术难以比拟的优势。然而,虚拟现实康复技术仍存在一些问题:(1)目前的虚拟现实系统,特别是沉浸式设备费用昂贵、场地要求较高、可移动性欠佳,限制其在临床进一步推广和应用。(2)目前关于虚拟现实康复技术干预脑卒中后上肢运动障碍的大样本随机对照临床试验较少,且所采用的虚拟现实系统和对上肢运动功能的评价方法不尽一致,故该项技术在《成人脑卒中康复指南》^[6]中的推荐级别并不高。因此,研发适合各种环境、便携的虚拟现实设备,进行多中心、大样本、设计优良的临床试验是未来研究方向。

近年来,多项新技术与虚拟现实技术相结合,二者优势互补、相互促进,展现出广阔的应用前景。(1)虚拟现实康复技术结合远程康复(TR)技术:对于社区或家庭中进行康复或者处于缺乏必要康复服务条件地区的脑卒中患者,虚拟现实康复技术结合远程康复技术可以将优质的康复资源输送至特定地区,为患者提供康复训练机会^[21]。基于计算机网络的远程虚拟现实康复系统为患者和康复治疗师搭建便利、经济的信息交流和康复训练平台。患者可以借助虚拟现实设备在虚拟环境中按要求进行康复训练,相关运动学参数、运动视频等信息

远程发送给康复治疗师并且根据患者个体情况进行康复训练模式的选择、康复训练的指导等。(2)虚拟现实康复技术结合康复机器人技术:目前,康复机器人技术已广泛应用于临床康复领域。20世纪90年代中期首次出现关于将虚拟现实康复技术作为康复策略的讨论,随后各种虚拟现实系统相继出现^[22]。这些系统多采用力学反馈、视觉反馈、触觉反馈设备等作为输入和输出设备,使患者在虚拟环境中通过康复机器人辅助进行康复训练。外骨骼系统是机器人研究领域的一个分支,是一种各关节与人体关节一致并依附在体外的机械系统,操作者与外骨骼之间可以直接进行力学及其他信息的传递^[23]。骨骼通常采用便携式结构,具有质量轻、结构便于调整、安全性高和清洁无污染等特点。人体上肢关节尤其是肩关节具有多个自由度的运动,虚拟现实康复技术与外骨骼系统相结合,可以使运动障碍严重的患者进行康复训练成为可能。通过操作者与外骨骼之间的信息传递,操作者可以及时对患者的不良姿势和动作进行矫正,进一步增加康复效果。(3)虚拟现实康复技术结合脑机接口(BCI)技术:脑机接口技术可以对大脑产生的运动意识所形成的脑电信号进行检测,再通过信号特征提取和分类,从中辨别患者的运动意图信号并将其转化为控制命令,支配外部设备,从而辅助患者产生相应动作^[24]。虚拟现实康复技术结合脑机接口技术可以构成基于虚拟现实的脑机接口(BCI-VR)新形式。患者通过想象双手运动所产生的脑电信号被采集和处理后,将控制命令发送至虚拟现实系统,后者能够实时反馈患者的运动想象,从而更好地进行运动想象。虚拟现实康复技术结合脑机接口技术可以使上肢完全瘫痪或残留微弱运动功能的患者也参与到虚拟现实康复训练中,促进神经功能重塑,改善运动功能。脑机接口作为BCI-VR系统的输入设备,是对传统虚拟现实系统输入方式的创新,使不同功能患者均能参与到虚拟现实康复训练中并从中获益。虚拟现实康复技术能够为患者提供更积极主动、更丰富多彩、更具激励性的情境反馈,提高脑机接口的可学习性,缩短训练时间。二者结合是目前非常有前景的发展方向。

尽管目前虚拟现实康复技术仍存在许多理论问题和技术难点,尚未形成统一的疗效评价标准,虚拟现实设备费用昂贵,但该项技术相对于传统康复技术具有无可比拟的优势。随着科技的进步,虚

拟现实康复技术在康复领域必将有更加广泛深入的应用, 进而提高患者康复疗效。

参 考 文 献

- [1] Feigin VL, Forouzanfar MH, Krishnamurthi R, Mensah GA, Connor M, Bennett DA, Moran AE, Sacco RL, Anderson L, Truelsen T, O'Donnell M, Venketasubramanian N, Barker-Collo S, Lawes CM, Wang W, Shinohara Y, Witt E, Ezzati M, Naghavi M, Murray C; Global Burden of Diseases, Injuries, and Risk Factors Study 2010 (GBD 2010) and the GBD Stroke Experts Group. Global and regional burden of stroke during 1990–2010: findings from the Global Burden of Disease Study 2010. *Lancet*, 2014, 383:245-254.
- [2] Nichols -Larsen DS, Clark PC, Zeringue A, Greenspan A, Blanton S. Factors influencing stroke survivors' quality of life during subacute recovery. *Stroke*, 2005, 36:1480-1484.
- [3] Sun R, Zhang T, Zhao J, Liu LX. Effect of virtual reality rehabilitation on balance function in stroke patients with hemiplegia. *Zhongguo Kang Fu Li Lun Yu Shi Jian*, 2014, 20:458-463. [孙然, 张通, 赵军, 刘丽旭. 虚拟现实技术对脑卒中偏瘫患者平衡功能的疗效. *中国康复理论与实践*, 2014, 20:458-463.]
- [4] Jin L, Zhang T, Zhao J. Advance in virtual reality rehabilitation technique in upper limbs motor function of stroke patients. *Zhongguo Kang Fu Li Lun Yu Shi Jian*, 2014, 20:905-907. [金玲, 张通, 赵军. 虚拟现实康复技术对脑卒中患者上肢运动功能恢复的研究进展. *中国康复理论与实践*, 2014, 20:905-907.]
- [5] Tao YX, Qu Y. Research progress on rehabilitation of upper limb function after stroke by virtual reality. *Zhongguo Kang Fu Yi Xue Za Zhi*, 2014, 29:289-291. [陶英霞, 屈云. 虚拟现实对脑卒中后上肢功能康复的研究进展. *中国康复医学杂志*, 2014, 29:289-291.]
- [6] Winstein CJ, Stein J, Arena R, Bates B, Cherney LR, Cramer SC, Deruyter F, Eng JJ, Fisher B, Harvey RL, Lang CE, MacKay-Lyons M, Ottenbacher KJ, Pugh S, Reeves MJ, Richards LG, Stiers W, Zorowitz RD; American Heart Association Stroke Council, Council on Cardiovascular and Stroke Nursing, Council on Clinical Cardiology, Council on Quality of Care and Outcomes Research. Guidelines for adult stroke rehabilitation and recovery: a guideline for healthcare professionals from the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke*, 2016, 47:E98-169.
- [7] Laver KE, George S, Thomas S, Deutsch JE, Crotty M. Virtual reality for stroke rehabilitation. *Cochrane Database Syst Rev*, 2015, 12(2):CD008349.
- [8] Saposnik G, Mamdani M, Bayley M, Thorpe KE, Hall J, Cohen LG, Teasell R; EVREST Steering Committee, EVREST Study Group for the Stroke Outcome Research Canada Working Group. Efficacy of Virtual Reality Exercises in STroke Rehabilitation (EVREST): rationale, design, and protocol of a pilot randomized clinical trial assessing the Wii gaming system. *Int J Stroke*, 2010, 5:47-51.
- [9] Saposnik G, Cohen LG, Mamdani M, Pooyania S, Ploughman M, Cheung D, Shaw J, Hall J, Nord P, Dukelow S, Nilanont Y, De Los Rios F, Olmos L, Levin M, Teasell R, Cohen A, Thorpe K, Laupacis A, Bayley M; Stroke Outcomes Research Canada. Efficacy and safety of non-immersive Virtual Reality Exercising in STroke rehabilitation (EVREST): a randomised, multicentre, single-blind, controlled trial. *Lancet Neurol*, 2016, 15:1019-1027.
- [10] Lohse KR, Hilderman CG, Cheung KL, Tatla S, Van der Loos HF. Virtual reality therapy for adults post-stroke: a systematic review and meta-analysis exploring virtual environments and commercial games in therapy. *PLoS One*, 2014, 9:E93318.
- [11] Veras M, Kairy D, Rogante M, Giacomozzi C, Saraiva S. Scoping review of outcome measures used in telerehabilitation and virtual reality for post-stroke rehabilitation. *J Telemed Telecare*, 2016. [Epub ahead of print]
- [12] Pareto L, Johansson B, Ljungberg C, Zeller S, Sunnerhagen KS, Rydmark M, Broeren J. Telehealth with 3D games for stroke rehabilitation. *Int J Disabil Hum De*, 2011, 10:373-377.
- [13] Levin MF, Weiss PL, Keshner EA. Emergence of virtual reality as a tool for upper limb rehabilitation: incorporation of motor control and motor learning principles. *Phys Ther*, 2015, 95:415-425.
- [14] Molier BI, Van Asseldonk EH, Hermens HJ, Jannink MJ. Nature, timing, frequency and type of augmented feedback: does it influence motor relearning of the hemiparetic arm after stroke? A systematic review. *Disabil Rehabil*, 2010, 32:1799-1809.
- [15] da Silva Cameirão M, Bermúdez I, Badia S, Duarte E, Verschure PF. Virtual reality based rehabilitation speeds up functional recovery of the upper extremities after stroke: a randomized controlled pilot study in the acute phase of stroke using the rehabilitation gaming system. *Restor Neurol Neurosci*, 2011, 29:287-298.
- [16] Subramanian SK, Massie CL, Malcolm MP, Levin MF. Does provision of extrinsic feedback result in improved motor learning in the upper limb poststroke: a systematic review of the evidence? *Neurorehabil Neural Repair*, 2010, 24:113-124.
- [17] Kiper P, Piron L, Turolla A, Stozek J, Tonin P. The effectiveness of reinforced feedback in virtual environment in the first 12 months after stroke. *Neurol Neurochir Pol*, 2011, 45:436-444.
- [18] van Vliet PM, Wulf G. Extrinsic feedback for motor learning after stroke: what is the evidence? *Disabil Rehabil*, 2006, 28:831-840.
- [19] You SH, Jang SH, Kim YH, Hallett M, Ahn SH, Kwon YH, Kim JH, Lee MY. Virtual reality-induced cortical reorganization and associated locomotor recovery in chronic stroke: an experimenter-blind randomized study. *Stroke*, 2005, 36:1166-1171.
- [20] Saleh S, Bagec H, Qiu Q, Fluet G, Merians A, Adamovich S, Tunik E. Mechanisms of neural reorganization in chronic stroke subjects after virtual reality training. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*, 2011:8118-8121.
- [21] Krpic A, Savanovic A, Cikajlo I. Telerehabilitation: remote multimedia-supported assistance and mobile monitoring of balance training outcomes can facilitate the clinical staff's effort. *Int J Rehabil Res*, 2013, 36:162-171.
- [22] Pons JL. Rehabilitation exoskeletal robotics: the promise of an emerging field. *IEEE Eng Med Biol Mag*, 2010, 29:57-63.
- [23] Shih JJ, Krusienski DJ, Wolpaw JR. Brain-computer interfaces in medicine. *Mayo Clin Proc*, 2012, 87:268-279.
- [24] Gatica-Rojas V, Méndez-Rebolledo G. Virtual reality interface devices in the reorganization of neural networks in the brain of patients with neurological diseases. *Neural Regen Res*, 2014, 9:888-896.

(收稿日期:2017-02-06)